

ソイルセメントを用いた緩衝システムの実規模実験

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○牛渡 裕二 室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人
名古屋工業大学大学院 正会員 内藤 直人 釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光

1. はじめに

近年、異常気象による斜面の不安定化などにより、設計時に想定していない規模の落石が発生し、落石防護擁壁がせん断破壊に至る事例が報告されている。このため既設落石防護構造物の耐衝撃性能の向上が求められているとともに、近年の財政状況からコスト縮減も同時に要求されている。

そこで著者らは、既存ストックおよび現地発生土等を有効活用し、かつ効率的に落石衝撃力を緩衝するシステムとして、ソイルセメント-ジオグリッド-EPS ブロックから成る緩衝システムを提案してきたが、既往成果は1/2スケール模型実験での検証および確認であった。以上より、本研究では、提案工法の適用エネルギー範囲（最大対応可能エネルギー）の検証を目的に、実規模レベルの構造に対して重錘落下衝撃実験を実施した。

2. 実験概要

図1に衝撃実験に用いた装置の概要を示す。緩衝システムは、既往研究¹⁾の設計式より $E = 1,000 \text{ kJ}$ で設計し、製作した。その形状寸法は、ソイルセメント厚 $t_s = 100 \text{ cm}$ 、二方向ジオグリッド2枚、EPS ブロック厚 $t_e = 50 \text{ cm}$ から構成され、ジオグリッドはソイルセメント底面からかぶり10 cmの位置に埋設した。

実験ケースは、入力エネルギー $E = 300 \text{ kJ}$ (5 ton $\times$ 6 m, W5-H6)、 $E = 1,000 \text{ kJ}$ (5 ton $\times$ 20 m, W5-H20)、 $E = 1,200 \text{ kJ}$ (10 ton $\times$ 12 m, W10-H12) の3ケースである。W5-H6 および W5-H20 のケースは、工法の緩衝性能と装置の安全性を確認する予備実験であり、W10-H12 のケースを本実験とした。

計測は、上記3ケースで重錘衝撃力および重錘貫入量を計測し、W10-H12 のみ伝達衝撃力を計測した。

なお、表面保護工として試験体表面と側面の解放面に、超速硬化ウレタン防水材を $t = 2.0 \text{ mm}$ 程度の厚さで吹き付けている。

3. 実験結果

写真1に、W10-H12 の破壊性状を一例として示す。W5-H20 と W10-H12 においては、重錘が深く貫入し、ウレタン被覆の破断およびソイルセメントへの貫入跡には押抜きせん断コーンの形跡が見られる。その角度は既往の室

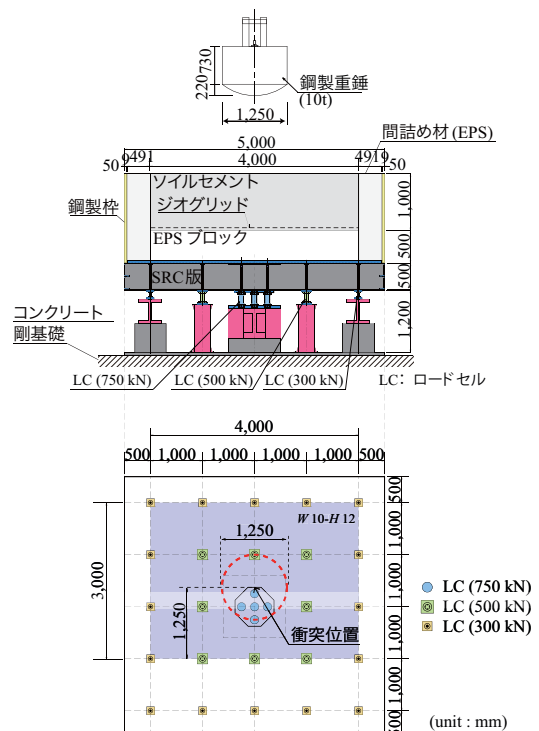


図1 実験装置概要図

内実験結果と同様に $\theta = 45^\circ$ であった。またソイルセメントの損傷に伴い、重錘は解放面側に転倒する傾向を示した。重錘衝突点直下のEPSブロックにも同様な押抜きせん断破壊の形跡が見られ、解放面側に押し出されている。

なお、ソイルセメント中に配置しているジオグリッドは、重錘径程度で円形に破断している事も確認した。

図2に全ケースの (a) 重錘衝撃力波形と (c) 重錘貫入量および、(b) W10-H12 における伝達衝撃力波形を示す。図2 (a) より、入力エネルギー $E \geq 1,000 \text{ kJ}$ となる W5-H20, W10-H12 の重錘衝撃力は、重錘衝突時に励起する第1波と、継続時間が $t = 100 \text{ ms}$ を越える第2波から構成されている。既往の研究結果²⁾より、第2波は、EPSブロックの降伏強度 $\sigma_{ey} = 0.2 \text{ MPa}$ 程度を超過するケースで、EPSブロックのひび割れが底面近傍にまで達する事によって生じることがわかっている。最大値は、W5-H20 と W10-H12 でそれぞれ $4,900 \text{ kN}$ と $5,600 \text{ kN}$ であり、ほぼ同程度である。

図2 (b) に示す W10-H12 における伝達衝撃力波形は、重錘衝突後の $t = 10 \text{ ms}$ と $t = 80 \text{ ms}$ を折れ点とするトリリニア分布に、 $t = 40 \text{ ms}$ 付近から生じる継続時間 $t = 15 \sim$

キーワード：落石防護擁壁、緩衝システム、実規模衝撃実験

連絡先：〒065-8510 (株) 構研エンジニアリング 防災施設部 TEL / FAX 011-780-2813 / 011-785-1501

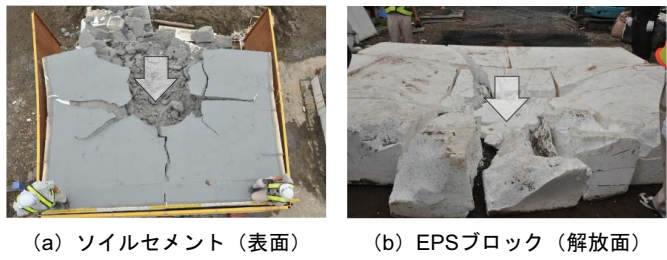


写真1 実験終了後の破壊性状

表1 実験結果と算定結果の比較

項目	実験結果		算定結果	
実験ケース	W10-H12	W5-H20	W10-H12	W5-H20
落石エネルギー (kJ)	1,200	1,000	1,200	1,000
重錘衝撃力 (kN)	5,600	4,900	6,007	5,141
伝達衝撃力 (kN)	2,025	-	2,183	1,740

20 ms 程度の正弦半波形状が合成された形状をしており、最大値は正弦半波と合成された時点で励起している。

伝達衝撃力は EPS ブロックを介するため、その応力-ひずみ関係に大きく依存し、正弦半波は 図3 に示す EPS ブロックの圧縮試験結果の B 点に対応して剛性勾配の急増によって生じたものと推察される。また W5-H20 と W10-H12 の伝達衝撃力の最大値はほぼ同程度の 2,000 kN 程度であり、両者とも重錘衝撃力の第 2 ピーク $t = 55$ ms 付近で発生している。

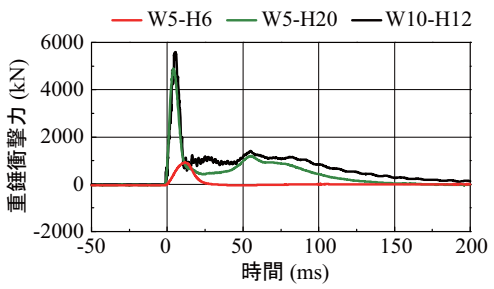
図2 (c) に示す重錘貫入量波形において、最大貫入量は重錘の運動量に比例する傾向にあり、ピーク値発生時刻は入力エネルギーが大きいほど、遅い傾向にある。これは入力エネルギーの増加に伴い緩衝システムの損傷が大きくなり、復元が遅れることによるためと推察される。特に W10-H12 のケースでは、リバウンドが発生しておらず、本緩衝システムの限界に近い状態である事を示唆している。

4. 設計式との比較

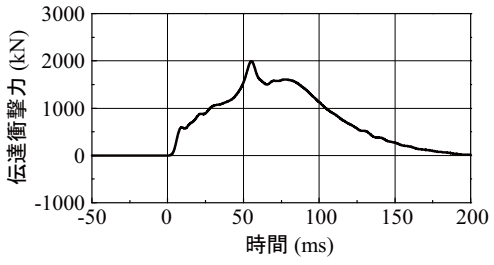
既往研究¹⁾において、重錘衝撃力と伝達衝撃力を推測する設計式を提案しており、W5-H20 および W10-H12 の実験ケースで算定した結果と実験値を比較した一覧を表1に示す。表より、設計式による算定値は実験値よりも 10 % 程度安全側の評価であり、提案設計式の妥当性が確認できたものと考えられる。

5. まとめ

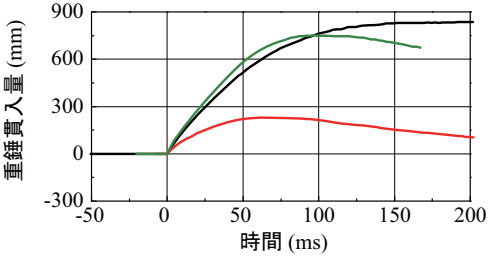
本研究では、提案の緩衝システムの緩衝性能を実規模レベルで確認することを目的とし、実規模の緩衝システムを用いた実験を実施した。実験結果より、実規模レベルの緩衝システムに入力エネルギー $E = 1,200$ kJ を作用させた場合においても緩衝効果は十分発揮されることがわかった。しかしながら、緩衝システムが激しく損傷しており、緩衝システムの限界に近い状態であると考えられる。



(a)重錘衝撃力



(b)伝達衝撃力



(c)重錘貫入量

図2 各種応答波形

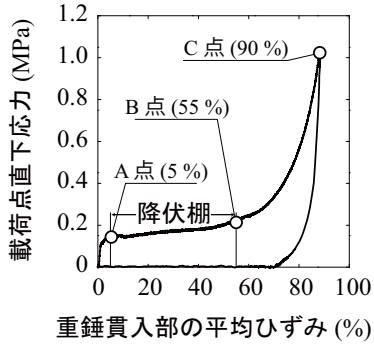


図3 EPS ブロックの応力-ひずみ関係

参考文献

1) 藤堂俊介, 牛渡裕二, 栗橋祐介, 岸徳光: ソイルセメントを用いた三層緩衝構造の設計法の一提案, コンクリート工学論文集, Vol.36, 2014

2) 牛渡裕二, 栗橋祐介, 鈴木健太郎, 川瀬良司, 岸徳光: ソイルセメントを用いた三層緩衝構造の限界状態および荷重分散領域に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.963-972, 2014